

PENGARUH KENAIKAN SUHU PAD BAGIAN-BAGIAN KABEL BERISOLASI PVC

Said Sunardiyo

ABSTRAK

Pada pemakaian kabel sering diberi beban lebih dari kemampuan sebenarnya sebagaimana tertera pada kode penandaan kabel tersebut. Sehingga terjadi aliran arus listrik melebihi kemampuan hantar arus kabel. Akibatnya kabel menjadi panas, kondisi ini akan berdampak terhadap kinerja kabel.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus terhadap kenaikan temperatur bagian-bagian kabel pada kabel tanah berisolasi PVC tegangan rendah.

Kata Kunci: pengaruh, suhu, panas, PVC

1. Pendahuluan

Berdasarkan pengamatan pada pemakaian kabel sering diberi beban lebih dari kemampuan sebenarnya sebagaimana tertera pada kode penandaan kabel tersebut. Sehingga terjadi aliran arus listrik melebihi kemampuan hantar arus kabel. Akibatnya kabel menjadi panas, kondisi ini akan berdampak kurang baik terhadap kelangsungan kabel sebagai penyalur daya listrik.

Berkaitan dengan penyaluran daya listrik serta instalasi yang terpasang maka aspek panas dalam kabel menjadi pertimbangan penting supaya dapat dihindari adanya kegagalan kabel.

Permasalahan yang timbul adalah seberapa besar pengaruh arus terhadap temperatur bagian-bagian kabel pada kabel tanah berisolasi PVC dan XLPE tegangan rendah.

Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh arus terhadap kenaikan temperatur bagian-bagian kabel pada kabel tanah berisolasi PVC dan berisolasi XLPE tegangan rendah.

2. Landasan Teori

Bahan polimer sangat berubah oleh perubahan temperatur. Hal ini disebabkan jika temperatur berubah, pergerakan molekul karena termal akan mengubah struktur, terutama struktur yang berdimensi besar. Menurut Tata Surdia dan Shinroku Saito (1999) dinyatakan bahwa kekuatan hancur dielektrik pada bahan polimer merupakan kekuatan hancur termal artinya dipengaruhi oleh panas.

Polyethelene jenis Polyvinil Chloride (PVC)

PVC yang sering dikenal sebagai bahan dasar isolasi listrik, memiliki sifat-sifat antara lain: massa jenis 1,4; Tahan terhadap air, asam, alkali. Tidak bersifat racun; Tidak menyala; Isolasi listriknya baik; Melunak pada temperatur 65 °C sampai 85 °C ; Bersifat plastis pada temperatur 120 °C sampai 150 °C; Mencair pada atau diatas 170 °C, Terurai memberikan asam klorida pada temperatur atau diatas 190 °C. Pada suhu kamar PVC bersifat keras dan rapuh.

Kabel tanah jenis NYY

Berdasarkan SPLN 43-1 : 1994 kabel tanah NYY dipakai di dalam dan di luar gedung atau di dalam tanah jika diberi pelindung yang cukup. Kuat Hantar Arus maksimum didasarkan pada kuat hantar arus secara terus menerus pada suhu penghantar tidak melebihi 70 °C.

Pembangkitan panas pada kabel

Pada operasional penyaluran daya, arus yang mengalir pada kabel akan menghasilkan panas pada bagian konduktor kabel. Panas tersebut diradiasikan ke luar atau lingkungan sekitarnya. Besarnya panas ditunjukkan dalam persamaan :

$$W = I^2 R \dots\dots\dots(1)$$

W = panas yang diradiasikan (Watt)

I = arus yang mengalir pada konduktor (A)

R = resistans konduktor (Ω)

Besarnya radiasi panas oleh karena adanya aliran arus pada konduktor menurut Fourier ditunjukkan melalui persamaan sebagai berikut :

$$W = kA \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots\dots(2)$$

W = panas yang diradiasikan (Watt);
K = konduktivitas panas (W/m °C)
A = area radiasi panas (m²);

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \text{gradien temperatur (°C/m)}$$

Konduktivitas panas bahan konduktor bergantung pada koefisien panas konduktor, hubungan tersebut ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L \Delta T} \dots\dots\dots(3)$$

α = koefisien panas (°C);
Lo = panjang konduktor pada temperatur kamar (m)
 ΔL = perubahan panjang konduktor (m);
 ΔT = perubahan temperatur (°C)

Resistans termal kabel yaitu resistans termal pada isolasi PVC, pada bahan pengisi (*filler*), pada selubung, dan pada perisai kabel masing-masing memiliki nilai berbeda. Hal ini menggambarkan kemampuan bagian-bagian kabel tersebut dalam memindahkan panas. Adapun penurunan temperatur yang terjadi pada masing-masing bagian tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$T = W \cdot R_{th} \dots\dots\dots(4)$$

T = penurunan temperatur (°C);
 R_{th} = resistans termal bagian² kabel (Ω/m)

Gejala kelistrikan kabel

Resistansi a.c. efektif (R_{ac}) konduktor

$$R_{ac} = R_{dc} (1 + Y_s + Y_p) \dots\dots\dots(5)$$

R_{ac} = resistans a.c. efektif konduktor pada temperatur kerja maks.(Ohm/m)
 R_{dc} = resistans d.c. efektif konduktor pada temperatur kerja maks.(Ohm/m)
 Y_s = faktor efek kulit
 Y_p = faktor efek kedekatan

Resistans d.c. efektif konduktor persatuan panjang pada temperatur kerja maksimum dapat ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$R_{dc} = R_0 [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)] \dots\dots\dots(6)$$

R_0 = resistans d.c. efektif konduktor pada temperatur 20 °C (Ω/m)
 α_{20} = koefisien temperatur konduktor pada temperatur 20 °C
 θ = temperatur kerja maksimum (°C)

Harga dapat dilihat langsung dari IEC 228.

Persamaan yang dapat dipergunakan untuk menentukan harga R_0 dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$R_0 = k_1 \frac{\rho_{20}}{A} \cdot 10^6 \dots\dots\dots(7)$$

R_0 = resistans d.c. efektif konduktor pada temperatur 20 °C (Ω/m)
 k_1 = konstanta, besarnya bergantung dari kondisi fisik logam dan pertambahan panjang pada proses pabrikasi. Konstanta ini nilainya antara 1,3 sampai 1,6.

ρ_{20} = tahanan jenis konduktor pada suhu 20 °C.

Faktor efek kulit pada konduktor persamaan-nya ditunjukkan sebagai berikut :

$$Y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0,8 X_s^4} \dots\dots\dots(8)$$

$$X_s^2 = \frac{8\pi f}{R_{dc}} 10^{-7} k_s \dots\dots\dots(9)$$

Faktor kedekatan untuk kabel dua inti ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0,8 X_p^4} \left(\frac{d_c}{s} \right) \times 2,9 \dots\dots\dots(10)$$

$$X_p^4 = \frac{8\pi f}{R_{dc}} 10^{-7} k_p$$

$$\dots\dots\dots(11)$$

dc = diameter konduktor;
s = jarak antar sumbu konduktor (mm)
kp = konstanta yang berpengaruh terhadap efek kedekatan

Induktansi pada kabel

Pada IEC 287 induktansi yang berkaitan dengan penentuan kemampuan hantar arus terdiri dari :

a. Induktansi diri selubung (sheath)

Persamaan yang berkaitan dengan induktansi diri selubung diberikan sebagai $L_s = 2 \ln \left(\frac{2S}{d} \right) \cdot 10^{-7}$ (12)

L_s = induktansi diri selubung (H/m);

S = jarak antar kabel (mm)

D = diameter rerata selubung (mm) dg persamaan = $0,5 (d_{sD} + d_{sL})$

d_{sD} = diameter dalam selubung (mm)

d_{sL} = diameter luar selubung (mm)

b. Induktansi bersama selubung kabel

Induktansi bersama (mutual induktansi) antar selubung luar dan konduktor pada satu kabel yang lainnya diberikan pada persamaan berikut :

$$L_m = 2 \ln (2) \times 10^{-7} = 1,3863 \cdot 10^{-7} \dots (13)$$

L_m = induktansi bersama selubung kabel (H/m)

Kapasitansi pada kabel

Kapasitansi konduktor persatuan panjang ditunjukkan persamaan berikut :

$$C = \frac{\epsilon}{18 \ln \left(\frac{D_i}{d_c} \right)} 10^{-9} \text{ (F/m)} \dots \dots \dots (14)$$

ϵ = permitivitas relatif isolasi kabel

D_i = diameter luar isolasi (mm) ;

d_c = diameter konduktor (mm)

Rugi – rugi pada kabel

(1) Rugi konduktor

a. Resistans arus searah (R_{dc}) persatuan panjang konduktor pada temperatur kerja :

$$R_{dc} = R_o [1 + \alpha_{20} (T_c - 20)] \dots \dots \dots (15)$$

T_c = temperatur konduktor

b. Faktor efek kulit yang terjadi karena arus bolak-balik pada konduktor dilakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0,8 X_s^4} \dots \dots \dots (16)$$

$$X_s^2 = \frac{8\pi f}{R_{dc}} 10^{-7} k_s \dots \dots \dots (17)$$

Y_s = faktor rugi konduktor karena efek kulit

X_s^2 = faktor rugi konduktor karena efek sekitar;

k_s = faktor koreksi efek kulit

c. Faktor pendekatan akibat dari keberadaan kabel lainnya untuk kabel berinti dua :

$$Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0,8 X_p^4} \left(\frac{d_c}{s} \right) \times 2,9 \dots \dots \dots (18)$$

$$X_p^2 = \frac{8\pi f}{R_{dc}} 10^{-7} k_p \dots \dots \dots (19)$$

Y_p = faktor rugi akibat kabel lain

X_p^2 = faktor rugi akibat efek sekitar;

s = jarak terdekat antar konduktor (mm)

d_c = diameter konduktor (mm);

k_p = faktor koreksi efek sekitar

Berdasarkan persamaan tersebut di atas maka besarnya faktor rugi-rugi dari efek kulit dan efek kedekatan dari kabel lain, pada konduktor adalah :

$$Y_c = Y_s + Y_p \dots \dots \dots (20)$$

Y_c = faktor perbandingan rugi-rugi a.c / rugi-rugi d.c konduktor.

Sehingga besarnya resistans a.c efektif konduktor ialah :

$$R_{ac} = R_{dc} (1 + Y_s + Y_p) \dots \dots \dots (21)$$

Berdasarkan persamaan tersebut maka rugi konduktor akibat pemanasan oleh arus :

$$W_c = I^2 R_{ac} \text{ (W/m)} \dots \dots \dots (22)$$

W_c = rugi konduktor kabel

b. Rugi Isolasi

Besarnya efek kapasitansi pada isolasi kabel diberikan pada persamaan :

$$C = \frac{2\epsilon_o \epsilon_g}{\ln \frac{D_i}{D_c}} \dots \dots \dots (23)$$

ϵ_o = $8,854 \times 10^{-12}$ F/m

D_i = diameter isolasi (mm)

ϵ_g = permitivitas relatif material isolasi

D_c = diameter screen lapisan dalam (mm)
Arus yang mengalir pada kapasitansi merupakan arus bocor yang besarnya ialah :

$$I_c = 2\pi f C E_o = 2\pi f \left[\frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon_g}{\ln \frac{D_i}{D_c}} \right] \cdot E_o \dots (24)$$

f = frekuensi listrik (Hz)

C = kapasitansi (F/m)

E_o = tegangan fase-netral (kV)

Besarnya $\tan \delta$ atau faktor disipasi adalah sebagai berikut :

$$\tan \delta = \frac{I_g}{I_c} \dots (25)$$

Rugi dielektrik

$$W_d = E_o I \sin \delta = E_o I_c \tan \delta$$

$$W_d = \frac{4\pi f \epsilon_0 \epsilon_g E_o \tan \delta}{\ln \frac{D_i}{D_c}} \text{ (W/m)} \dots (26)$$

$$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

ϵ_r = permitifitas relatif beban isolasi D_i
= diameter luar isolasi (mm)

E_o = tegangan fasa ke tanah (kV) D_c
= diameter luar konduktor (mm)

c. Rugi Selubung

Sheath atau selubung resistans termalnya dapat dihitung berdasarkan persamaan

$$W_s = I^2 R_s \text{ (W/m)} \dots (27)$$

R_s = resistans selubung (Ω/m)

Perbandingan rugi-rugi selubung terhadap konduktor ialah :

$$\lambda_1 = \frac{W_s}{W_c} = \frac{I^2 R_s}{I^2 R_{ac}} = \frac{R_s}{R_{ac}} \dots (28)$$

dari persamaan tersebut dapat ditulis

$$W_s = \lambda_1 W_c \text{ (W/m)} \dots (29)$$

Kabel berselubung berbentuk sheath, resistans ekivalennya adalah :

$$R_{she} = \frac{\rho_{she}}{A_{she}} [1 + \alpha_{she} (T_{sh} - 20)] \dots (30)$$

$$A_{she} = \pi D_{m_{she}}^2 \dots (31)$$

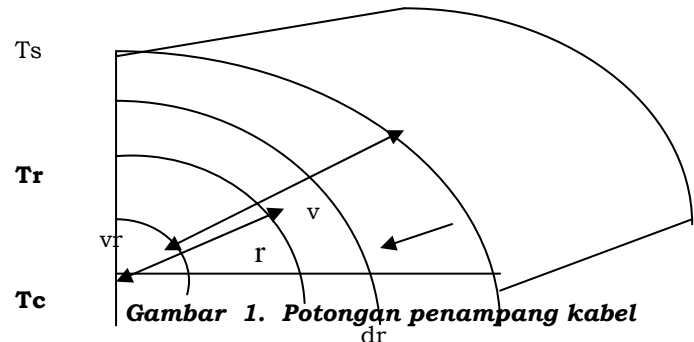
R_{she} = resistans d.c selubung pada temperatur penghantar (Ω/m)

A_{she} = luas penampang selubung (m^2)

$D_{m_{she}}$ = diameter rata-rata sheath (mm)

Resistans termal kabel

Resistans termal dielektrik kabel ditunjukkan pada gambar berikut :



T_s = temperatur selubung kabel ($^{\circ}\text{C}$);

T_c = temperatur konduktor ($^{\circ}\text{C}$)

T_r = temperatur lapisan pembungkus inti ($^{\circ}\text{C}$);

r_s = jari-jari selubung kabel (mm)

r_c = jari-jari konduktor (mm);

v = gradien tegangan antara penghantar dan selubung (V)

Kabel yang memiliki lapisan tebal dr dan berjarak r dari pusat sumbu kabel memiliki resistans termal :

$$dT_i = \rho_T \frac{dr}{2\pi r} \dots (32)$$

ρ_T = resistivitas termal dielektrik ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}/\text{W}$)

$$T_i = \int_{r_c}^{r_s} \rho_T \frac{dr}{2\pi r} \dots (33)$$

$$= \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left(\frac{r_s}{r_c} \right) \dots (34)$$

Resistans termal isolasi :

$$T_1 = \frac{\rho T_1}{2\pi} \ln \left[1 + \frac{2t_1}{D_c} \right] \text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}/\text{W}) \dots (35)$$

Resistans termal lapisan pembungkus inti :

$$T_2 = \frac{\rho T_2}{2\pi} \ln \left[1 + \frac{2t_2}{D_c} \right] \text{ (}^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}/\text{W}) \dots (36)$$

Resistans termal selubung luar : $T_3 =$

$$\frac{\rho T_3}{2\pi} \ln \left[1 + \frac{2t_3}{D_c} \right] \text{ (}^\circ\text{C.m/W)} \dots\dots\dots(37)$$

Perhitungan kemampuan hantar arus dan temperatur menggunakan rangkaian ekivalen panas kabel

Tabel 1. Analogi rangkaian panas dan rangkaian listrik

Rangkaian Panas	Rangkaian Listrik
Aliran panas (q)	Arus listrik (I)
Beda temperatur (ΔT)	Beda potensial (ΔE)
Tahanan panas (R)	Tahanan listrik (R)

B. CARA PENELITIAN

Bahan penelitian ialah kabel tanah berisolasi PVC jenis NYY tegangan 0,6/1 kV ukuran 2 x 2,5 mm² rm dan 2 x 6 mm² rm. Produksi P.T. Terang Kita Kabel Jakarta.

Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini terdiri dari : (1) Perangkat alat uji ‘*Heat Cycling Test Set*’ milik PT. Terang Kita Jakarta.; (2) Termokopel jenis K Range ukur termokopel : 0 °C s/d 500 °C. (3) termokontroler jenis PID Regulator T – 101, merk “Nokia” seri 414941 (4) Stopwatch, sebagai pencatat waktu selama pengujian; (5) Termometer ruang ; (6) Barometer; (7) Higrometer

Jalannya penelitian sebagai berikut : (1) persiapan alat dan bahan di laboratorium; (2) pembuatan termokopel dan kalibrasi; (3) menguji setiap jenis kabel; (4) pengukuran arus, temperatur dan waktu; (5) menganalisis hasil; (6) penarikan kesimpulan; (7) pelaporan.

Kesulitan dalam penelitian ialah : (1) Termokopel harus didesain khusus yaitu ujungnya berdimensi kecil agar dapat masuk ke bagian-bagian kabel. Dalam hal ini tidak terdapat di pasaran. (2) mengupas bagian-bagian kabel untuk dimasuki termokopel karena dimensi kabel kecil harus cermat dan perlu waktu lama juga

dalam menutup kembali agar tidak terjadi kontak dengan bagian lain atau udara sekitarnya.

C. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian dan Analisis

Hasil pengujian kabel di udara pada kondisi temperatur ruang 28 °C, tekanan udara 987 mmBar dan kelembaban udara 52 %. Lokasi Lab. Uji PT. Tranka Kabel, terdapat pada lampiran 1. Grafis hasil penelitian pada lampiran 2

2. Pembahasan

D. Hubungan arus dengan temperatur bagian-bagian kabel NYY

Saat arus mendekati nilai KHA maka berpengaruh terhadap kenaikan temperatur bagian-bagian kabel.

Variabel arus memberi pengaruh terhadap perubahan temperatur konduktor sebesar 0,9749 atau 97 % untuk jenis kabel NYY 2 x 2,5 mm² rm. Sedang pada jenis NYY 2 x 6 mm² rm variabel arus memberi kontribusi 98 % terhadap kenaikan temperatur.

Temperatur bagian-bagian kabel dipengaruhi nilai resistans termal masing-masing bagian kabel tersebut. Semakin dekat bagian kabel dengan sumber panas maka semakin tinggi temperaturnya. Hal ini sesuai dengan persamaan $T = W. R_{th}$

D. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Adanya pengaruh arus yang mengalir pada konduktor kabel terhadap terjadinya peningkatan temperatur (*temperatur rise*) pada bagian-bagian kabel.
2. Semakin dekat bagian kabel dengan konduktor sebagai media penyalur arus maka akan memiliki temperatur lebih tinggi dari bagian kabel lainnya.

Disarankan perlu dilakukan penelitian lanjutan pada jenis isolasi kabel lainnya, seperti : elastomer silicon, resin fenolik, elastomer silicon dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Holman, J.P., 1992, "Heat Transfer", McGraw – Hill, Seventh Edition.
- IEC Standard 287-1-2, 1994 a, "Electric Cable – Calculation of Current Rating. Part 1 : Current Rating Equations (100% load factor) and Calculation of Losses" : *IEC Publication* 853-2.
- IEC Standard 287-1-2, 1994 b, "Electric Cable – Calculation of Current Rating. Part 2 : Thermal Resistance": *IEC Publication* 853-2.
- Plexchem Technologies (PTE), 2000, "Interactive Chemistry", Diktat Referensi Bagian Riset dan Pengembangan PT. Tranka Kabel Indonesia, Jakarta.
- Pabla. A.S., 1991, "Sistem Distribusi Daya Listrik" (terjemahan), Erlangga Jakarta
- PUIL 1987, "Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia" LIPI Jakarta.
- SPLN 43-1 : 1994, "Kabel Tanah Berisolasi dan Berselubung PVC, Tegangan Pengenal 0,6/1 kV (NYY/NAYY)", PT. PLN (Persero), Jakarta.
- SPLN 43-6 : 1994, "Kabel Tanah Berisolasi XLPE dan Berselubung PVC, Tegangan Pengenal 0,6/1 kV (N2XY/NA2XY)", PT. PLN (Persero), Jakarta.
- Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1999, "Pengetahuan Bahan Listrik", Pradnya Paramita, Jakarta.
- Tranka Kabel, 2001, "PVC Low Voltage", leaflet PT. Terang Kita Kabel. Jakarta.
- Rosid, 2002, "Kabel Digelar Tak Teratur Pada Rak Kabel Terbuka," makalah pada

Forum Akademis Teknologi dan Energi, STT-YPLN, Jakarta.

BIOGRAFI

Said Sunardiyo, lahir di Blora tahun 1965. Lulus Sarjana Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Lulus Pascasarjana S2 jurusan Ilmu-ilmu Teknik Program Studi Teknik Elektro UGM pada tahun 2004. Meminati dan menekuni bidang tenaga listrik dan aplikasi computer.